

Я. О. Блинова, В. Н. Потапов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
blinyana@yandex.ru

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КРУТКИ ПОТОКА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОРЕЛКИ С ВЫХОДНЫМ КОНУСОМ

На базе анализа экологически безопасных горелок установлены проблемы создания новых конструкций.

Ключевые слова: горелки; факела; экономика; экология.

Y. O. Blinova, V. N. Potapov

Ural Federal University, Ekaterinburg

ANALYSIS OF CHANGING THE FLOW CIRCLES FOR THE MODERNIZATION OF THE BURNER WITH OUTPUT CONE

Based on the analysis of environmentally friendly burners the problem of creating new designs revealed

Keywords: burner; flame; economics; ecology

Главной проблемой создания горелок для пылевидного сжигания топлив в камерных топках является недостаточное понимания картины процессов формирования и развития горящих факелов, особенно закрученных. Речь идет, в первую очередь, о горелках мощных котлов тепловых электростанций (ТЭС), предназначенных для сжигания энергетических топлив. Это большие объемы приобретаемых на рынках углей и природного газа. Для такого оборудования во всем мире постоянно ужесточаются требования по экономичности сжигания и, особенно, по экологической безопасности.

В ближайшее время можно ожидать ужесточение экологических требований к сжиганию энергетических топлив.

Самой сложной и пока почти неразрешимой проблемой этого направления является получение объективной картины усиления или ослабления процессов турбулентного перемешивания в тех или иных зонах индивидуального факела горелки, особенно в ее устье - при воспламенении топлива. Без этого в инженерной практике практически невозможен контроль и достаточная управляемость процессами сжигания топлива. Речь идет о процессах ступенчатого нестехиометрического сжигания – самой эффективной и практически уже единственной технологии.

Одним из базовых приемов хотя бы частичного решения отмеченных проблем является установление кольцевых зон сильного или слабого перемешивания продуктов горения на разных радиусах поперечных сечений воздушных потоков и факелов в устье горелки при воспламенении топлива. Все приемы вместе существенно повышают эффективность сжигания топлив при дефиците воздуха без сажеобразования и без усиления неполноты сгорания твердого остатка углерода угольной пыли. Одновременно, приемы повышают устойчивость стабилизации воспламенения топлива, позволяя увеличить длину факелов горелок без обрывов и опасных пульсаций. Такие горелки дороги, сложны в эксплуатации и требуют тщательного исполнения, постоянных частых и дорогих «инспекций», то есть фактически - восстановительных ремонтов.

Другая группа технологий проще, дешевле, а в ряде случаев эффективнее. Однако ее применение требует более глубокого понимания процессов формирования факела, прежде всего, локализация на выходном участке горелки кольцевых турбулентных структур и их связь с кольцевой структурой закрученных потоков и результирующего факела. Если возможно, то достижение требуемого результата существенно упрощается установкой выходных воздушных каналов в виде сужающихся конусов.

В основу реконструкции горелок котлов ПК-47 нами положен эффект сохранения местной крутки центральной части воздушного вихря при снижении его интегральной крутки. В ходе этого исследования было установлено, что при определенных условиях одновременно со снижением интенсивности закрутки всего потока, в нем можно сохранить центральную часть, в которой крутка способна обеспечить устойчивое воспламенение топлива в широком диапазоне изменении нагрузки котла и качества топлива.

В качестве удачных примеров можно отметить рекордные горелки ALSTOM для сжигания угольной пыли, а также уже четверть века никем не превзойденные горелки стационарных турбин Siemens серии 3а, а также в значительной мере отечественные газомазутные горелки на базе конструкций ЦКТИ в варианте УралОРГРЭС, позже реконструированные по предложениям сотрудников и студентов кафедры ТЭС УПИ на котлах ПК-47 ВТГРЭС. Эти конструкции в той или иной мере базируются на результатах аэродинамических исследований моделей горелок или их отдельных узлов. Конструкцию кафедры ТЭС горелок котлов ПК-47 мы перерабатываем в новый вариант, более полно учитывающий ближайшие перспективы развития отечественной энергетики в более жестких условиях обеспечения экологической безопасности.

В основу реконструкции нами положен эффект сохранения местной крутки центральной части воздушного вихря при снижении его интегральной крутки, впервые полученный и подробно исследованный на кафедре ТЭС в 70-80-е годы прошлого века. В ходе этого уникального экспериментального исследования и оригинальной обработки полученных материалов было установлено, что при определенных условиях одновременно со снижением интенсивности закрутки всего потока, в нем можно сохранить центральную часть, в которой крутка способна обеспечить устойчивое воспламенение топлива в широком диапазоне изменении нагрузки котла и качества топлива. Одновременно можно получить усиление турбулентного перемешивания в приближенных кольцевых зонах формируемого им факела вблизи оси вращения потока.

Сжатие потока и снижении интенсивности его закрутки при сохранении крутки центральной зоны потока реализовано оригинальной технологией так называемого струйного радиального вдува (СРВ) части воздуха с периферии через перфорированную стенку выходного канала горелки. Интенсивность СРВ определено как отношение суммарного радиального импульса струй вдува k к интегральному осевому импульсу всего закрученного потока в выходном канале горелки. Интенсивность крутки всего потока Θ в пределах 0 – 1,1 показана на рис. 1.

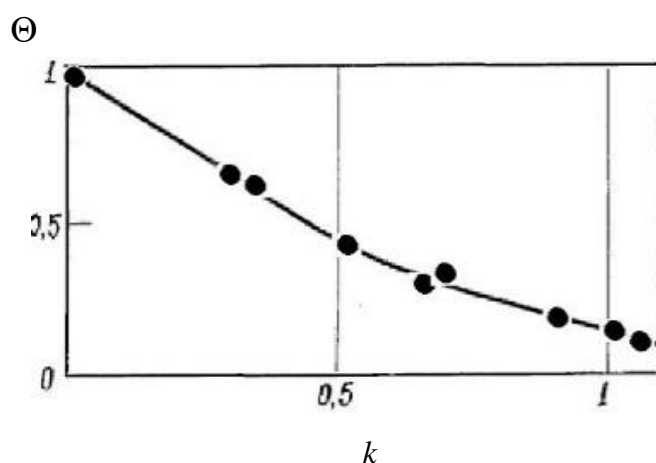


Рис. 1. Изменение крутки вихря на выходе из модели горелки

В то же время интенсивность крутки основного объема потока или ядра потока (без периферии) не снижается при снижении крутки всего потока примерно в 3,5 раза. А крутка кольцевой внешней области ядра потока (зоны так называемого квазипотенциального вращения - ЗКПВ) может временно даже усиливаться (рис. 2). Эти данные мы используем для оригинальной оценки изменения крутки потока в горелке при его сжатии в выходных каналах горелок, типа установленных на котлах ПК-47.

По данным нашего анализа, при слабой конусности падение крутки потока незначительно, так как темп снижения момента вращения из-за его потерь на стенке конуса соизмерим с незначительным усилением осевого импульса потока.

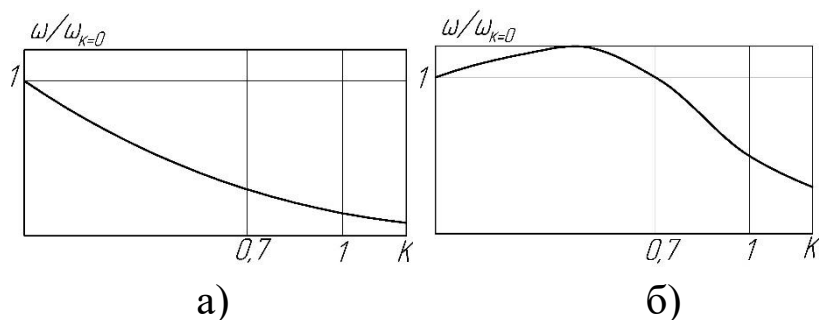


Рис. 2. Изменение относительной крутки потока (при его сжатии) в пределах внешней границы ЗКПВ (а), самой ЗКПВ (б)

При переносе опыта аэродинамического струйного сжатия закрученного потока с помощью СРВ следует иметь ввиду, что в современной литературе нет точных указаний на изменение крутки потока в сужающемся конусе. Часто считают, что крутка потока в конусе должна усиливаться это утверждение, по данным нашего анализа, как правило не соответствует действительности, особенно при сильной конусности выходного канала. В зависимости от сужения конуса всегда изменяется соотношение переносимого потоком момента вращения и осевого импульса того же потока. При слабой конусности падение крутки потока незначительно, так как темп снижения момента вращения из-за его потерь на стенке конуса соизмерим с незначительным усилением осевого импульса потока. Это до какого-то предела способствует к сохранению устойчивого приосевого обратного тока, обеспечивая надежность воспламенения угольной пыли, например, в лучших горелках котлов для котлов ALSTOM.

При одинаковом снижении крутки потока в наших расчетах и в эксперименте (рис. 1). По установленной потере крутки определяем локализацию в данном сечении конуса областей усиления и ослабления турбулентности внешней границы приосевого обратного тока. По этим данным определяем размеры, формы и режимы движения воздуха в центральном узле горелки в область ввода в поток природного газа.

Следует отметить, что на уникальных горелках котлов ПК-47 и горелках газовых турбин SIEMENS сужение более существенное, что

должно сильнее снижать крутку потоков из-за более высокого темпа усиления осевого импульса выходящего из горелок потока. Это требует дополнительных мер по стабилизации горения одновременной двумя группами приемов – усилением или сохранением более интенсивной закрутки центральной хоны потока и повышением интенсивности турбулентного перемешивания в той же зоне при воспламенении топлива. Подобные меры будут обеспечены в новой модернизированной конструкции горелок котлов ПК-47. Для этого нами уже разработан набор простых конструктивных решений.